

Utfärdat av:
Carolina Cantone

Skapat datum
2020-10-14

Senaste version sparad
2020-11-13

Dokumenttyp
Rapport

Dokumentnamn
Klimatutredning flöde i Klarälven

Dnr:
822-2020

Fastställt av
Jessica Lovell och Jonas German

Fastställt datum
2020-10-21

Informationshantering:
Normal

Flödesmodellering i Klarälven nu och i framtiden

Carolina Cantone

Uppdragsinformation

Uppdragstagare SMHI 601 76 Norrköping	Kontaktperson Carolina Cantone 011 – 495 8369 Carolina.cantone@smhi.se
Uppdragsgivare Länsstyrelsen Värmlands Län Våxnäsgatan 5 651 86 Karlstad	Kontaktperson Elin Ljunggren 010-224 73 45 elin.ljunggren@lansstyrelsen

1 Bakgrund

SMHI har av Länsstyrelsen i Värmland fått i uppdrag att utföra en analys av hur flödet i Klarälven kan komma att påverkas av ett förändrat klimat. Denna rapport är framtagen på beställning av Länsstyrelsen Värmland i projektet C5a (Cluster for Cloud to Coast Climate Change Adaptation) inom programmet Interreg Nordsjön. Finansierat av den Europeiska regionala utvecklingsfonden och av det nationella myndighetsnätverket för klimatanpassning.



2 Syfte

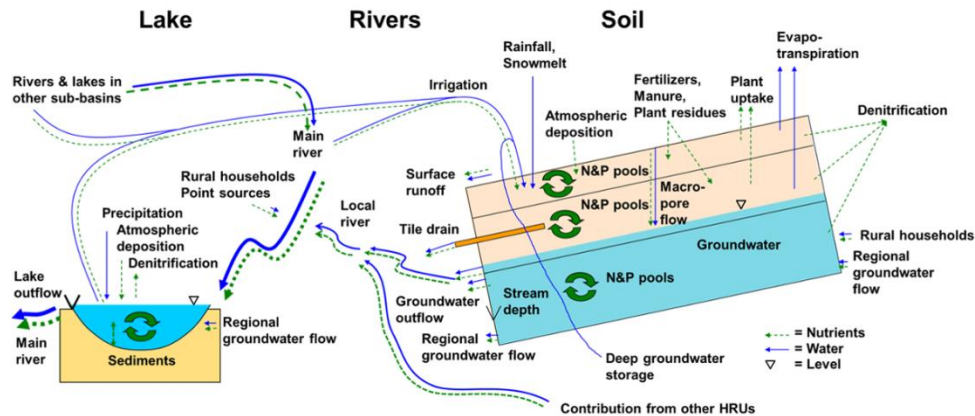
Inom ramen för Nordsjöprojektet behövs fördjupad kunskap om hur vanliga olika typer av flöden kommer att bli i framtiden och vilka effekter de kan ha på t.ex. sedimenttransport och intressenter längs med Klarälven. Ett sätt att undersöka detta är att ta fram varaktighetskurvor som visar med vilken frekvens olika typer av flöden kan väntas inträffa nu och i framtiden. Två olika utsläppscenarier har använts för att simulera flödet till mitten och slutet av seklet. Analysen görs för en punkt vid Edeforsen där uppmätt flödesdata finns tillgänglig.

3 Metodik

En flödesanalys för nuvarande samt framtida klimat utfördes för avrinningsområdet Edforsen i Klarälven. Analysen av olika typer av flöden baserades på den hydrologiska modellen HYPE som kördes med nuvarande väderförhållanden samt två olika utsläppscenarier för framtida perioder. Det modellberäknade flödet jämfördes mot det uppmätta flödet i Edforsen där SMHI har satt upp en pegel.

3.1 Hydrologisk modell och indata

HYPE är en hydrologisk modell för integrerad simulering av flöden och omsättning av vatten och näringsämnen (Ref 1). Avrinningsområdet delas upp i klasser beroende på markanvändning, jordart och höjd. Modellens parametrar är kopplade till denna geografiska information, vilket underlättar beräkningar i avrinningsområden utan observationer. Modelleringen är gjord med S-HYPE som är en specialuppsättning av HYPE-modellen anpassad till Svenska förhållanden. Den rumsliga indelningen är densamma som i Svenskt Vattenarkiv (SVAR). HYPE simulerar vattenflöden och ämnen från nederbörd genom mark och åar och sjöar till vattendragets utlopp (Figur 1).



Figur 1. Schematisk bild av HYPE-modellen.

Drivdata till modellen är observerad nederbörd och temperatur som hämtats från SMHI:s databas med areellt fördelad temperatur och nederbörd (Ref 2, 3).

S-HYPE delavrinningsområde för Edforsen visas i Figur 2, där mätstationen markerats vid utloppet.



Figur 2. Karta som visar Edforsen delavrinningsområde som violblå polygon. Den gröna triangeln vid avrinningsområde utloppet visar mätstationens lokalisering.

Flödet simulerades för tre perioder, se Tabell 1. För perioderna "mitten av seklet" och "slutet av seklet" kördes modellen med två olika utsläppscenarier, RCP 4.5 och RCP8.5 körda med 9 olika globala klimatmodeller och nedskalade med en regional klimatmodell. RCP8.5 motsvarar en fossil-intensiv framtid med höga utsläpp av koldioxid och RCP 4.5 innefattar stringent klimatpolitik som starka utsläppsminskningar (Ref 4). För mer information om klimatmodeller och utsläppscenarier se SMHI:s kunskapsbank (Ref 4). I den här analysen visas framtida resultat som medelvärde över de använda globala klimatmodellerna.

Tabell 1. Lista över de tre perioderna där flödet har simulerats.

30-års period	
Referens	1961-1990
Mitten av seklet	2040-2069
Slutet av seklet	2070-2099

Med begreppet vattenföring eller vattenflöde menas den mängd vatten per tidsenhet som rinner fram i ett vattendrag och anges vanligen som volym per tidsenhet [m^3/s]. Det modellberäknade flödet i den här analysen definieras som *naturligt*, eftersom flödets variationer under året påverkas av naturliga förhållanden (snösmältning, regn, avdunstning, mm.) och inte av mänskliga ingrepp, t.ex. vattendragens reglering för vattenkraftproduktion. Anledningen till att simulera naturligt flöde även i ett reglerat vattendrag som Klarälven beror på osäkerheten i regleringsstrategi i framtiden. Den här metodiken tillåter därmed en jämförelse av effekten av ett förändrat klimat på ett modellberäknat flöde.

Det simulerade resultaten jämförs även mot observerade flöden vid stationen (

Tabell 2, Ref 5).

Tabell 2. Observationskälla

Stationsnamn	Stationsnummer	Tidsserie som ingår i analysen
Edforsen krv	1703	1961-01-01 – 1990-12-31

3.2 Statistiska analyser

Beräknat flöde i olika perioder samt observerat flöde analyserades med olika statistiska verktyg.

3.2.1 Flödesstatistik

- MQ: medelflöde på 30-års referensperiod
- MHQ: medel av högsta årliga flöde på 30-års referensperiod
- MLQ: medel av lägsta årliga flöde på 30-års referensperiod

I den här analysen beräknades flödesstatistik utifrån observerad tidsserie (Tabell 3).

Tabell 3. Flödesstatistiker från tidsserie i Edforsen station

	MHQ	MQ	MLQ
Flödet [m^3/s]	452	126	38

3.2.2 Varaktighetskurva

En kurva som representerar varaktighet av den tiden när ett flöde är lika med eller överskrider ett visst flöde under en viss period (Figur 3-8).

3.2.3 "Delta" metodiken

I syfte att utvärdera effekten av ett förändrat klimat på flödet i Edforsen har den så kallade Delta metoden (Ref 6) använts. Med den här metoden kan framtida förändringar analyseras på ett enkelt sätt genom att beräkna flödesvariationer på grund av olika utsläppscenarier i en framtida period jämfört med en referensperiod.

Deltametoden innebär att differensen mellan framtida flöde och simulerat flöde för referensperioden läggs till observationer eller modellerat flöde med nuvarande klimat. Differens mellan simulering med klimatmodell i framtiden och i referensperioden beräknades (1), och sedan lades differensen till simulerat flöde med nuvarande klimat (2).

$$\Delta Q = Q_{(\text{klimatmodell i framtid period})} - Q_{(\text{klimatmodell i referens period})} \quad (1)$$

$$Q_{\text{förändrat}} = \Delta Q + Q_{\text{SHYPE-referensperiod}} \quad (2)$$

Beräkningar gjordes separat för de två utsläppscenarierna RCP4.5 och RCP8.5.

3.2.4 Histogram

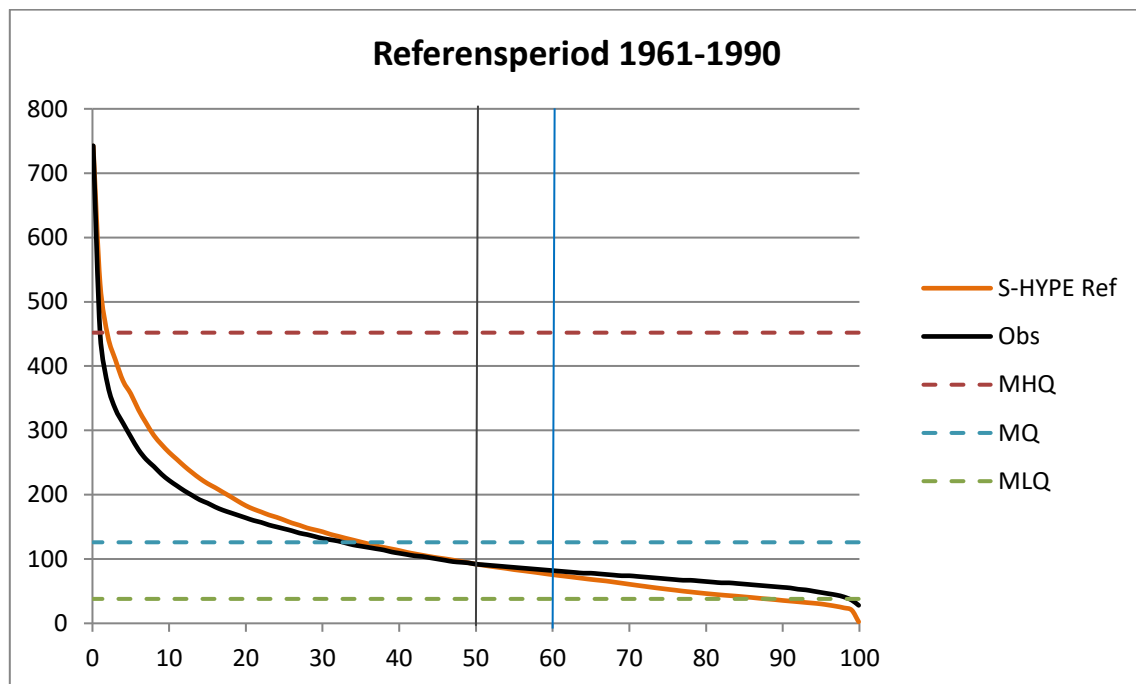
Ett stapeldiagram som beskriver frekvensen av ett visst flödets intervall under en viss period (Figur 13-15)

4 Resultat

Resultaten har beräknats som dygnsmedelvärde för de tre ovan nämnda beräkningsperioderna. Modellresultat har sedan bearbetats för att presentera data med de beskrivna statistiska verktygen i avsnitt 3.2.

4.1 Varaktighetskurvor

Det uppmätta flödet vid Edforsens station jämfördes mot simulerat flöde med S-HYPE för referensperioden (**Fel! Hittar inte referenskälla.**).



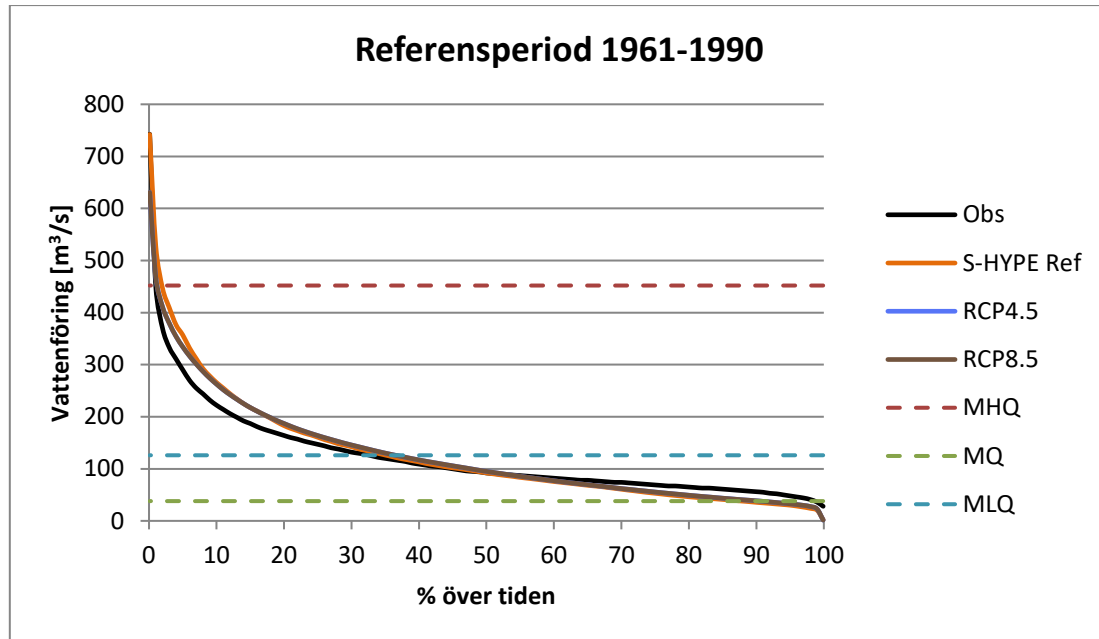
Figur 3. Varaktighetskurvor för modellerade vattenföring från hydrologisk modell (orange) samt uppmätt vattenföring i stationen (svart). Streckade linjer visar flödesstatistik som beräknades utifrån mätserie (avsnitt 3.2.1). Alla linjer och kurvor gäller för beräkningsperiod 1961-1990.

Varaktighetskurvor i **Fel! Hittar inte referenskälla.** visar en återspeglad flödesdynamik mellan de två jämförda tidsserier som gör att det observerade flödet som inträffar mindre än 50 % av tiden (till vänster om den gråa vertikala linjen) är av mindre mängd än den som simuleras av hydrologisk modell. Den största skillnaden mellan uppmätt och simulerat flöde är omkring 50 m³/s. Vattenföringens mängd som inträffar över 60 % av tiden (till höger om den blåa vertikala linjen) är

istället högre från mätserie än från modellresultat. Det betyder att modellen simulerar mer låga flöden än de som uppmätts. Både tidsserier visar samma mängd extremt höga flöden omkring 750 m³/s som inträffar mindre än 0,01 % av tiden.

En annorlunda fördelning av flödet under tiden mellan modellresultat och mätningar kan tolkas som skillnaden mellan det naturliga flödet som simuleras av den hydrologiska modellen och det aktuella flöde som reflekterar reglering i Klarälven.

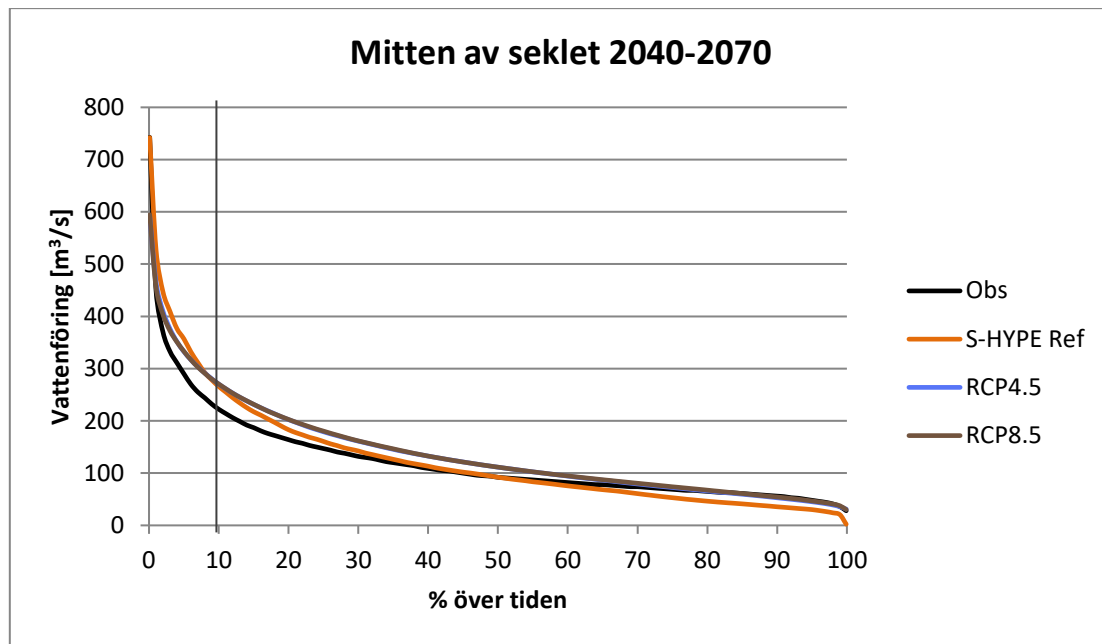
Varaktighetskurvor visar att påverkan av olika utsläppscenarier är försumbar då man simulerar flödet för referensperioden med hjälp av data från olika klimatmodeller (**Fel! Hittar inte referensskälla.**).



Figur 4. Varaktighetskurvor för modellerad vattenföring från hydrologisk modell med nuvarande klimat (orange), och klimatscenarier med RCP4.5 (blå) och RCP8.5 (brun) samt uppmätt vattenföring vid stationen (svart). Streckade linjer visar flödesstatistik som beräknats utifrån mätserier (avsnitt 3.2.1). Alla linjer och kurvor gäller för beräkningsperioden 1961-1990.

Flödets varaktighet som simuleras för både RCP4.5 och RCP8.5 för referensperioden 1961–1990 är samma, och det följer på ett ganska liknande sätt varaktighetskurvan som är beräknad med S-HYPE för referensperioden. Den största skillnaden syns vid den högsta vattenföringen, som skiljer sig ca 100m³/s.

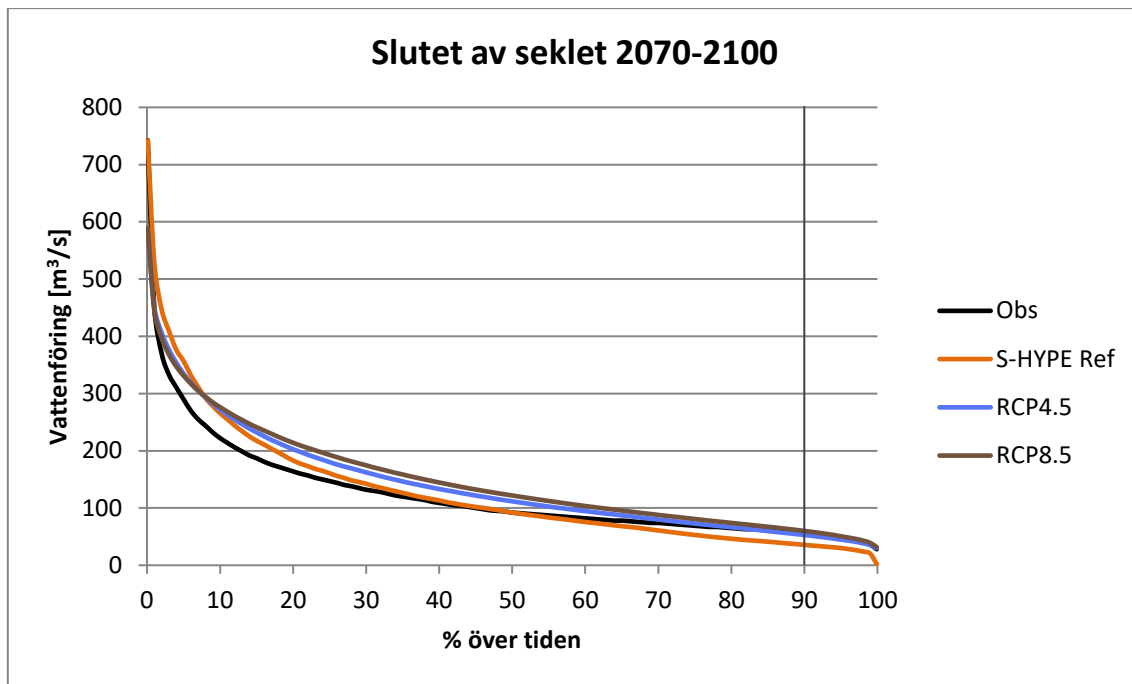
I mitten av seklet är skillnaden mellan RCP4.5 och RCP8.5 obetydlig (**Fel! Hittar inte referensskälla.**).



Figur 5. Varaktighetskurvor för modellerad vattenföring från hydrologisk modell med klimatscenarier RCP4.5 (blå) och RCP8.5 (brun) i mitten av seklet (beräkningsperiod 2040-2070). Dessa kurvor jämförs med varaktighetskurvor för referensperiod 1961-1990 utifrån hydrologisk modell med nuvarande klimat (orange), samt uppmätt vattenföring i stationen (svart).

Flödesvaraktighet med både utsläppscenarier skiljer sig dock från dynamiken i referensperioden. Vattenföringen simulerat med ett framtid klimatscenario som inträffar mer än 10 % av tiden (till höger på den gråa vertikala linjen i Figur 5) är alltid större än det simulerade vattenflödet under referensperioden. Den högsta skillnaden är 20 m³/s. Diagrammet i Figur 5 visar också att simulerat flöde med klimatscenarier är större än uppmätt vattenföring i genomsnitt över tiden. Undantaget är högsta flödet som förväntas vara mindre än de med nuvarande klimat. Maximal vattenföring med klimatscenarier i mitten av seklet är mindre än det observerade eller simulerade under referensperioden på cirka 150 m³/s. Dessutom kommer låga flöde i framtiden inträffa med samma varaktighet än dem som observeras nu i en reglerad regim i Edforsen.

Simulering med klimatmodeller till slutet av seklet (beräkningsperiod 2070–2100) visas i **Fel! Hittar inte referenskälla..**

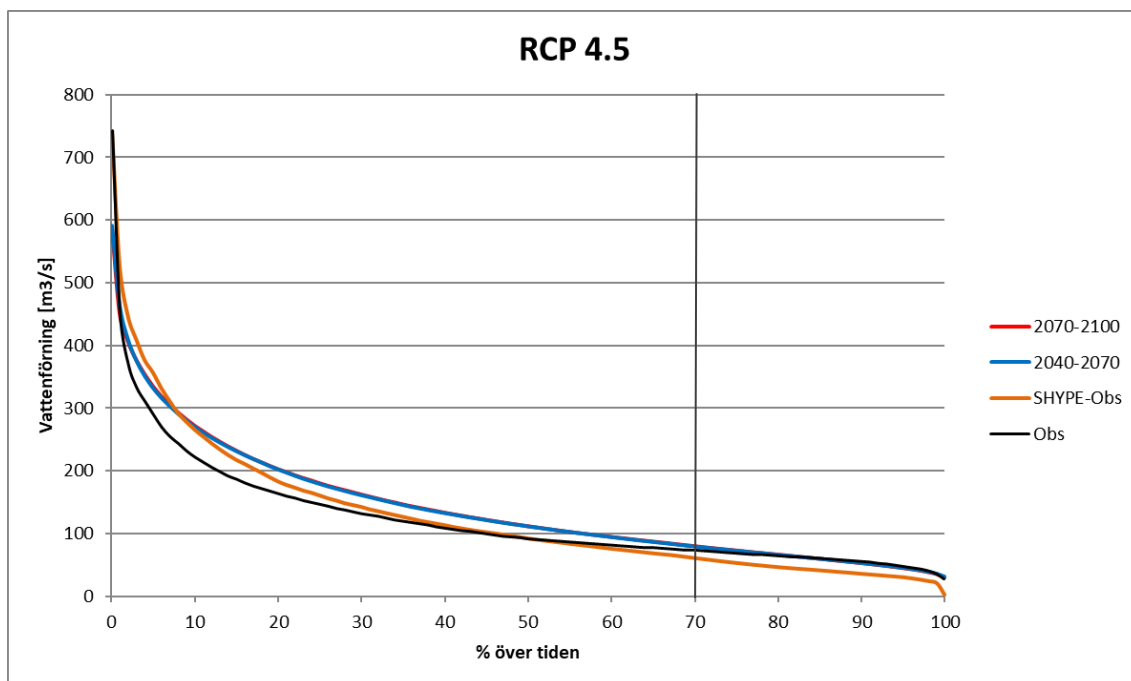


Figur 6. Varaktighetskurvor för modellerade vattenföring från hydrologisk modell med klimatscenarier RCP4.5 (blå) och RCP8.5 (brun) i slutet av seklet (beräkningsperiod 2070-2100). Dessa kurvor jämförs med varaktighetskurvor för referensperiod 1961-1990 utifrån hydrologisk modell med nuvarande klimat (orange), samt uppmätt vattenföring i stationen (svart).

Både RCP4.5 och RCP8.5 har samma dynamik men för 90 % av hela perioden är flödet med RCP4.5 mindre än det med RCP8.5 (till vänster av den gråa vertikala linjen). Maximal avvikelse är dock på ca $4\text{ m}^3/\text{s}$ vilket gör skillnaden mellan klimatmodellresultat försumbar också i denna beräkningsperiod. Högst vattenföring är fortfarande i storlek $600\text{ m}^3/\text{s}$, samma som i modellresultat till mitten av seklet.

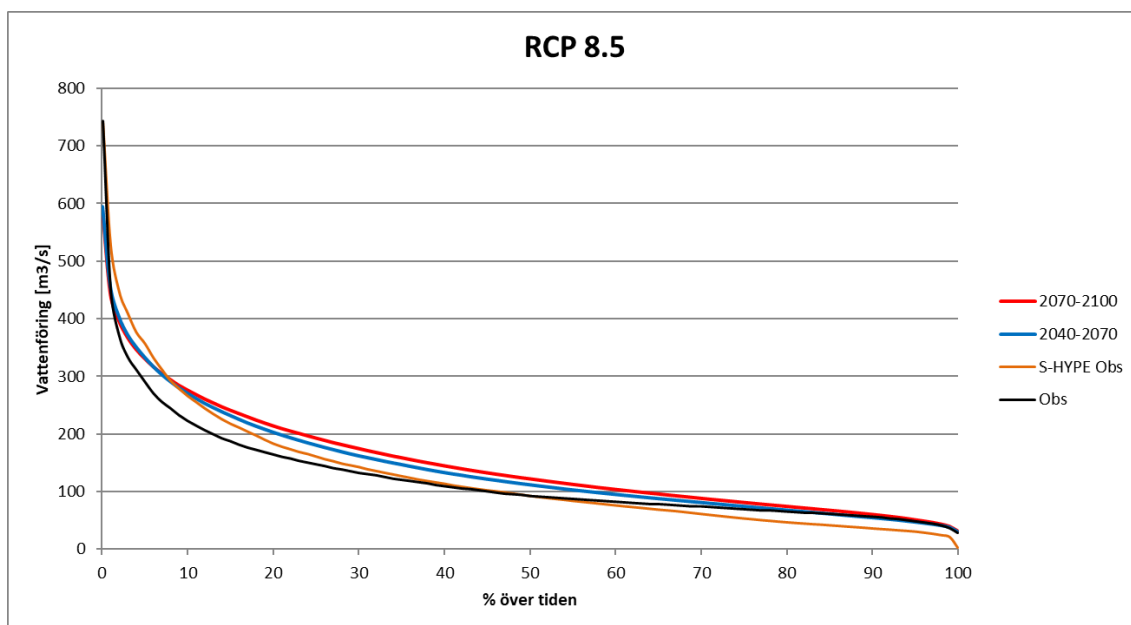
Varaktighetskurvor har också grupperats enligt klimatscenario, se Figur 7 och Figur 8. I detta fall visas diagrammet modellerat flöde i mitten och i slutet av seklet jämfört mot observerat och simulerat flöde i referensperiod.

Figur 7 visar modellerat flöde enligt RCP4.5 i mitten och slutet av seklet jämfört mot observerat samt simulerat flöde i referensperiod. Diagrammet visar att klimatscenario RCP4.5 leder till samma simulerade flöde i både mitten och slutet av seklet. Högsta flöden i framtiden kommer bli omkring $150\text{ m}^3/\text{s}$ mindre än högsta flöde som inträffar i referensperiod. I genomsnitt över tiden kommer dock flödesmängd vara större än normalt. Uppmätt flöde i referensperiod och simulerat flöde enligt utsläppning scenario RCP4.5 har samma mängd till flöden som inträffar mer än 70 % över tiden (till höger på den gråa vertikala linjen).



Figur 7. Varaktighetskurvor för modellerade vattenföring från hydrologisk modell med klimatscenarier RCP4.5 i mitten av seklet (blå linje) och slutet av seklet (röd linje). Dessa kurvor jämförs med varaktighetskurvor för referensperiod 1961-1990 utifrån hydrologisk modell med nuvarande klimat (orange), samt uppmätt vattenföring i stationen (svart).

Utsläppsscenario RCP8.5 påverkar modellerat flöde till mitten eller slutet av seklet, som syns i Figur 9.



Figur 8. Varaktighetskurvor för modellerade vattenföring från hydrologisk modell med klimatscenarier RCP4.5 i mitten av seklet (blå linje) och slutet av seklet (röd linje). Dessa kurvor jämförs med varaktighetskurvor för referensperiod 1961-1990 utifrån hydrologisk modell med nuvarande klimat (orange), samt uppmätt vattenföring i stationen (svart).

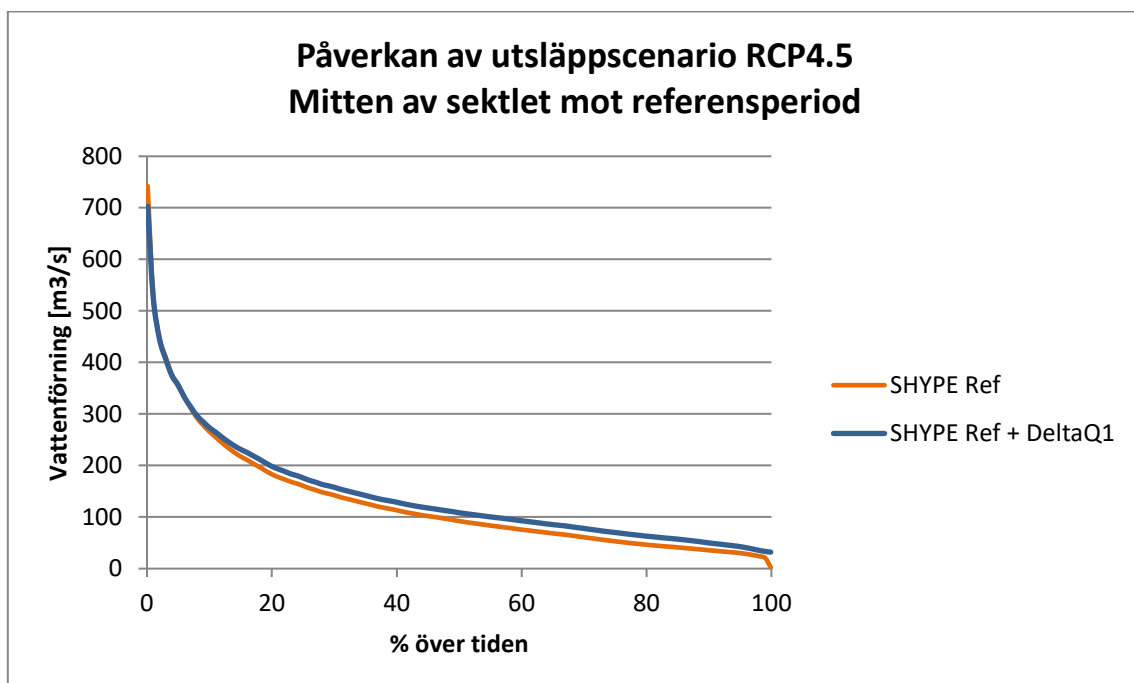
I genomsnitt över beräkningsperiod är simulerat flöde till slutet av seklet (röd linje i Figur 8) större än det som simuleras till mitten av seklet (blå linje) med maximal avvikelse på 12 m³/s. Undantagen de

högsta flöde där framtidvattenföring är mindre än nuvarande vattenföring blir flödesmängd alltid större i framtiden jämfört med observationer från referensperiod. Till mitten av seklet kommer flödet vara i genomsnitt 20 m³/s större än uppmätta flöde i referensperiod. Avvikelse blir i storleken 25 m³/s till slutet av seklet.

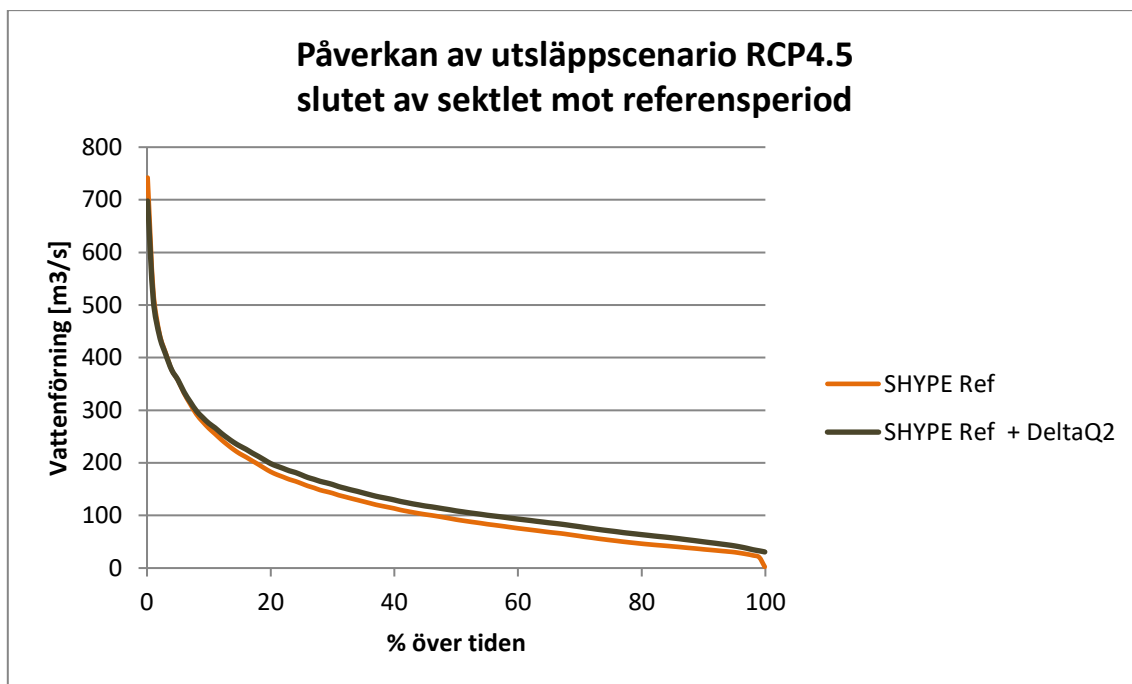
4.2 Deltametoden

För att uppskatta effekten av ett förändrat klimat på flödet vid Edforsen har deltametoden använts. Metoden visar påverkan av ett förändrat klimat på nuvarande flöde genom att lägga till flödeskillnaden i framtiden till simulerat eller observerat flöde för referensperioden. I första steget beräknas differensen mellan simulerat flöde i en framtida period med klimatscenario och referensperiod för samma beräkningsperiod (30 år). Sedan läggs differensen till simulerat flöde med hydrologisk modell som drivs av väderförhållanden från nuvarande klimat. Anledningen till att tillämpa metoden till HYPE-simulerad vattenföring istället för flödesmätningar är att den hydrologiska modellen simulerar naturligt flöde i Edforsen, medan mätningar reflekterar variationer som beror av reglering i Klarälven.

Figur 9 och Figur 10 visar varaktighetskurvor från S-HYPE simulering för referensperioden (med nuvarande klimat) och kurvor för förändrat flöde på grund av klimateffekter från scenario RCP4.5.



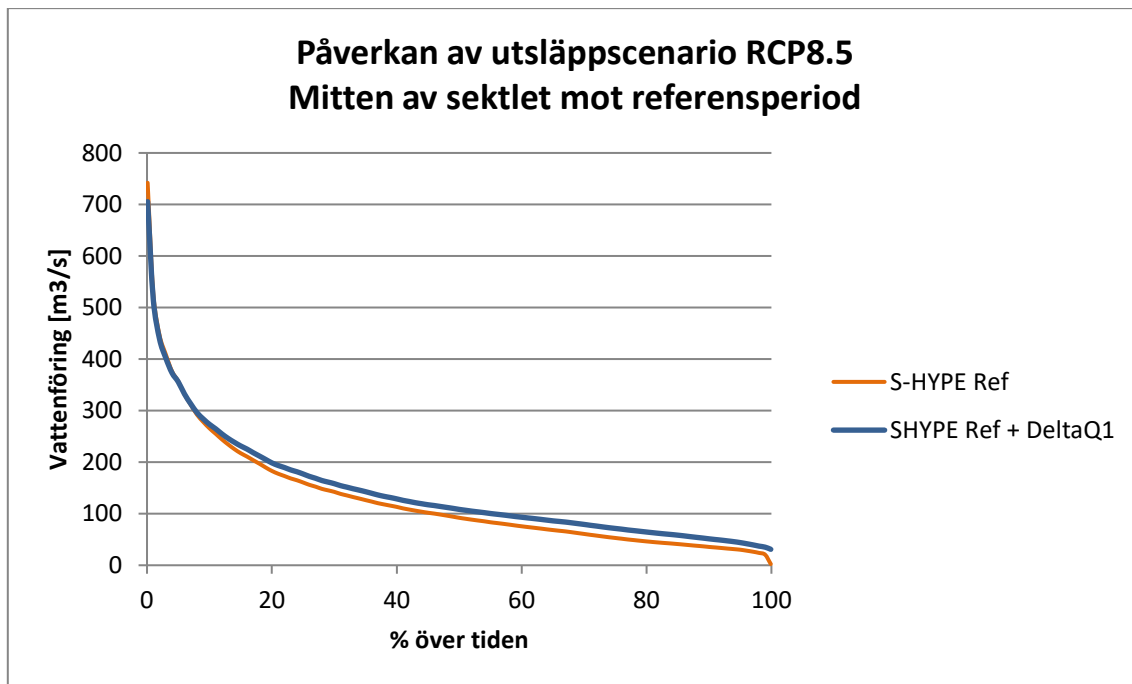
Figur 9. Varaktighetskurvor för modellerad vattenföring från hydrologisk modell för referensperioden (orange) och beräknad förändrad vattenföring med deltametoden till mitten av seklet med RCP4.5 (blå).



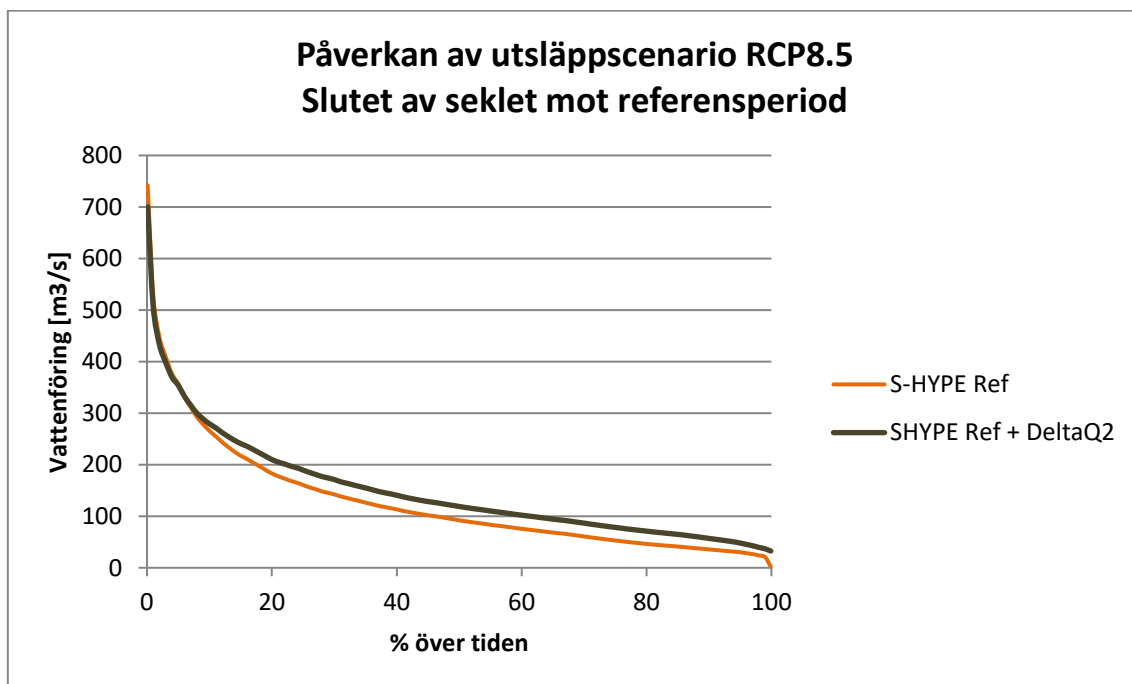
Figur 10. Varaktighetskurvor för modellerade vattenföring från hydrologisk modell för referensperiod (orange) och beräknad förändrad vattenföring med deltametoden till slutet av seklet med RCP4.5 (brun).

Flödesvariationen som räknas i mitten av seklet mot referensperioden (Figur 9 – blå linje) har samma storlek som den som räknas i slutet av seklet mot referensperioden (Figur 10 – brun linje). Det här resultatet återspeglar samma slutsatser från **Fel! Hittar inte referensskälla.** och **Fel! Hittar inte referensskälla.**, där flödesvaraktighet med klimatscenario RCP4.5 ger samma flödesresultat i mitten och i slutet av seklet. Resultaten från delta metoden visar en minskning på omkring 50 m³/s av flödet som inträffar mindre än 0,1 % över tiden (extremt flöde), medan i 90 % av tiden visar flödet en ökning på 15 m³/s i genomsnitt.

Figur 11 och Figur 12 presenterar resultaten genom att beräkna deltan utifrån resultat från klimatscenario RCP8.5. Effekten av ett förändrat klimat på flödet till mitten av seklet med ett fossil-intensivt scenario (RCP8.5) är likt det som ges av det som innefattar utsläppsminskning (RCP4,5), med minskning av extrema flöden. Varaktighetskurva visar att ett flöde i genomsnitt 15m³/s större än det som simuleras i referensperiod kommer ha en större frekvens i framtiden på grund av ett förändrat klimat. (Figur 11). Till slutet av seklet är effekten av scenario RCP8.5 starkare jämfört med flödet i referensperioden, där flödet som inträffar 90 % av tiden är i genomsnitt 25m³/s större är det nuvarande flödet (Figur 12).



Figur 11. Varaktighetskurvor för modellerad vattenföring från hydrologisk modell för referensperiod (orange) och beräknad förändrad vattenföring med deltametoden till mitten av seklet med RCP8.5 (blå).

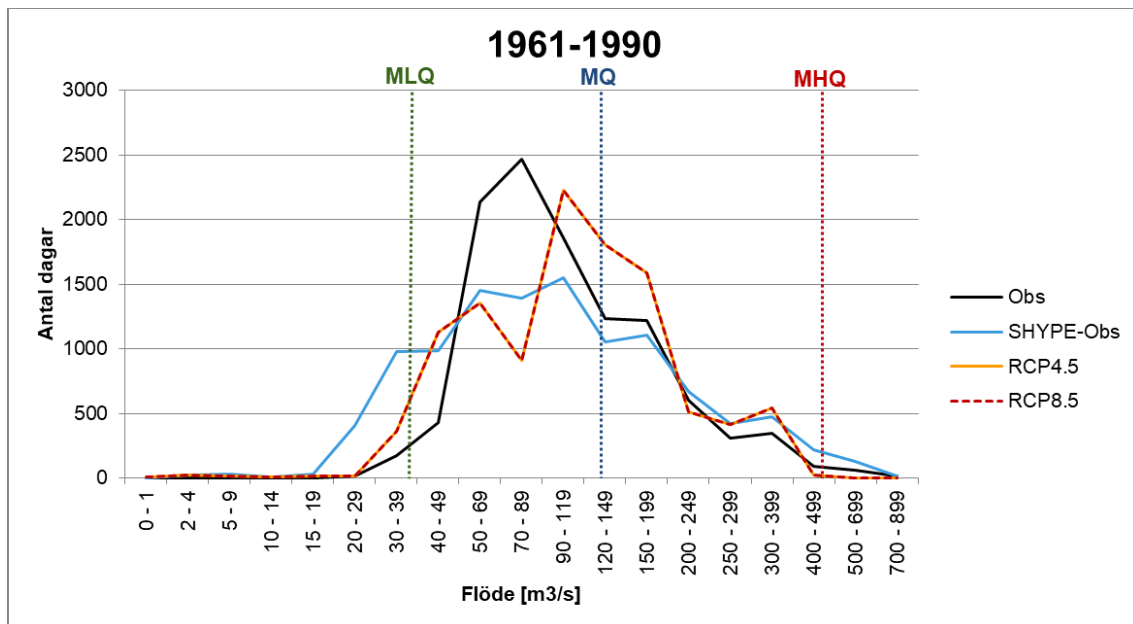


Figur 12. Varaktighetskurvor för modellerad vattenföring från hydrologisk modell för referensperiod (orange) och beräknad förändrad vattenföring med deltametoden till slutet av seklet med RCP8.5 (brun).

4.3 Histogram

Ett histogram är ett annat sätt av presentera resultat för att beskriva hur ofta ett visst flöde händer i en viss tidsperiod. I denna analys byggs histogrammet som beskriver antal dagar på beräkningsperiod (30 år ~ 11 000 total antal dagar) där ett fast flödesintervall inträffar. Fast flödesintervall syns i x-axeln och det räknas på logaritmisk skala som ger en mjukare fördelning över flödesvärdena. Histogram visas i denna sektion separat per beräkningsperiod, på samma sätt som varaktighetskurvor presenterades.

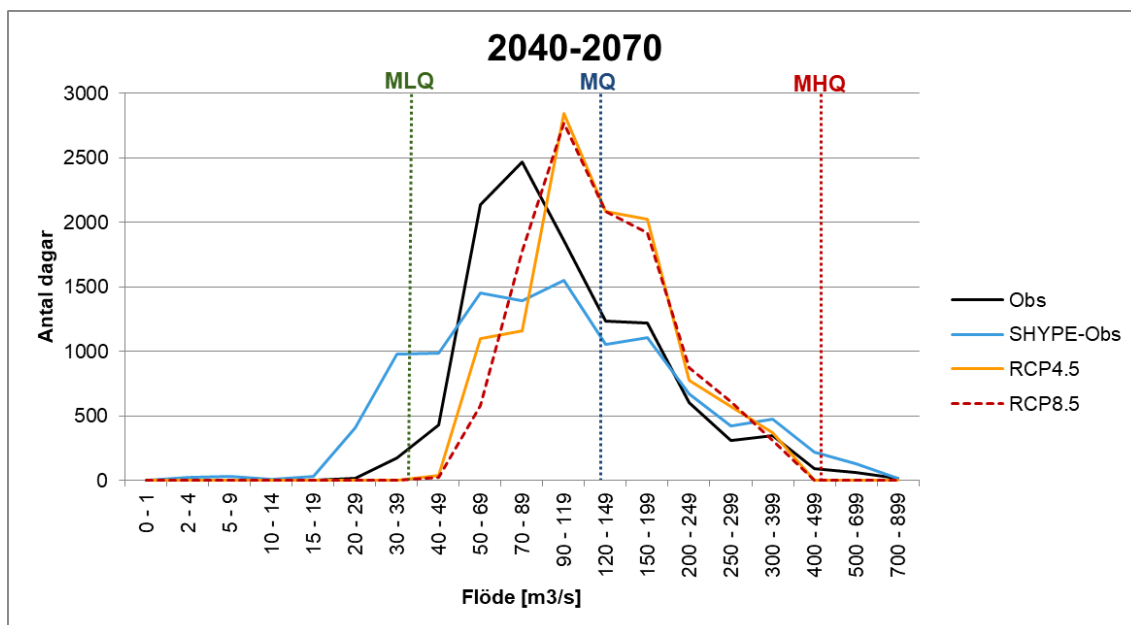
I referensperioden skiljer sig flödesfördelningen ganska mycket mellan simulerat och observerat flöde på grund av reglering i Edforsen (Figur 13).



Figur 13. Histogram för uppmätt flöde (svart), simulerat flöde med nuvarande klimat (ljusblå) och klimatscenarioer RCP4.5 (orange) samt RCP8.5 (streckad röd) för referensperiod.

Histogram utifrån mätningar (svart linje i Figur 13) visar att det vanligaste flödet (det som har inträffat högsta antal dagar under beräkningsperioden) är inom intervallet 50-90 m³/s där kurvan har en väldigt tydlig topp med 2200–2500 dagar där denna typ av flöde inträffar. Flödet som är större än medelvattenföring (126 m³/s, MQ i diagrammet) sjunker till 1200 dagar och går mot noll snabbt för flöde över medelhögvattenföring (485 m³/s, MHQ i diagrammet). Flödet som simuleras av SHYPE har en mer homogen fördelning utan stora toppar. I detta fall inträffar ett 30 m³/s flöde nästan 0,1 % av tiden (1000 dagar/30 år) medan mätningar visar att detta flöde mer sällsynt (omkring 250 dagar/30 år). Samma dynamik visar också för höga flöden större än MHQ, där frekvensen är nästan dubbel än den som beräknades utifrån mätningar. Simulerat flöde med RCP4.5 och RCP8.4 (orange och röd streckade linje i Figur 13 respektive) har samma fördelning över tiden, som dock skiljer sig ganska mycket från mätningar och modellerat flöde med nuvarande klimat. Till simulerad vattenföring enligt utsläppsscenarioer visar histogrammen två toppar, en mindre med flödesintervall 40-70 m³/s som inträffar i genomsnitt 1200 dagar i 30 år (~ 10 % av tiden), och en större vid 90–120 m³/s som har en frekvens på 20 % av tiden.

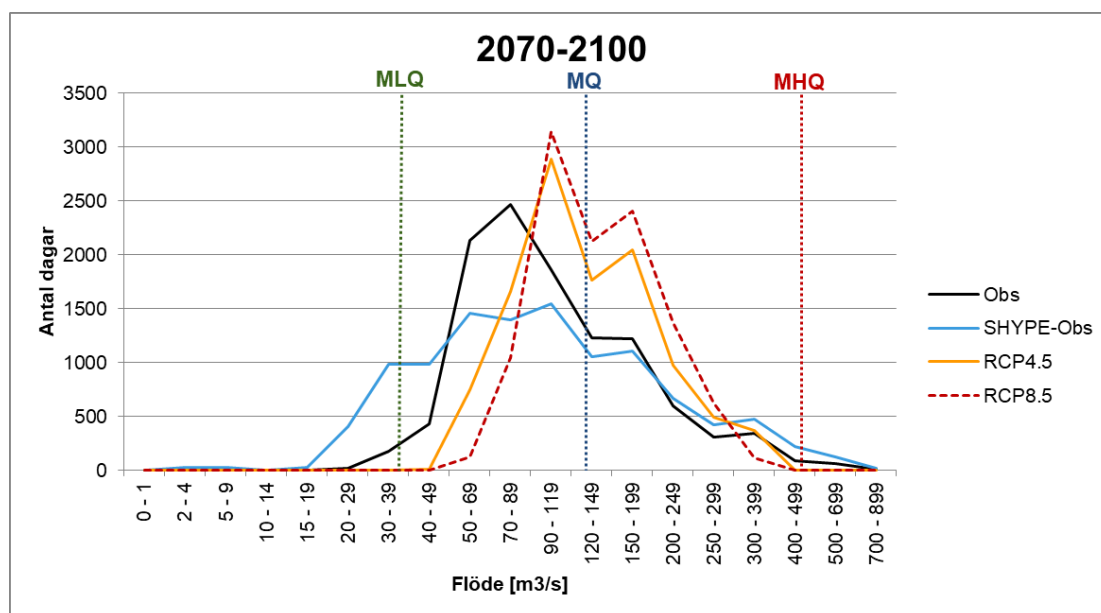
Till mitten av seklet (beräkningsperiod 2040–2070) är skillnaden mellan modellerat flöde med de två olika klimatscenarioer RCP4.5 och RCP8.5 inte betydande (Figur 14 **Fel! Hittar inte referenskälla.**).



Figur 14 . Histogram för simulerat flöde klimatscenario RCP4.5 (orange) samt RCP8.5 (streckad röd) för mitten av seklet (2040-2070). Uppmätt flöde (svart) och simulerat flöde med nuvarande klimat (ljus blå) baseras på referensperiod (1961-1990).

Framtida flöde modellerat enligt klimatscenarier på intervallet 90-120m³/s kommer inträffa mer än 25 % över tiden (2800 dagar) jämfört med 1860 dagar (17 % över tiden) vid uppmätt flöde och 1540 dagar (14 % av tiden) vid simulerad i referensperiod. Låga flöde upp till 50m³/s har en frekvens av 50 dagar över perioden (0,5 % av tiden), som motsvarar 5–10 % antal dagar över tiden från uppmätta och simulerat flöde till referensperiod. Det kan tolkas som att flödet till mitten av seklet inte blir så lågt som det observerat eller simulerat med nuvarande klimat. Samma slutsats gäller vattenföring över 400 m³/s som kommer bli mer sällsynt i till mitten av seklet.

Påverkan av olika utsläppscenarier är starkare i slutet av seklet, där flödesfördelning under beräkningsperiod ändras med båda klimatscenarierna jämfört till tidigare perioder (Figur 15).



Figur 15 Histogram för simulerat flöde klimatscenario RCP4.5 (orange) samt RCP8.5 (streckad röd) för slutet av seklet (2070-2100). Uppmätt flöde (svart) och simulerat flöde med nuvarande klimat (ljus blå) baseras på referensperiod (1961-1990).

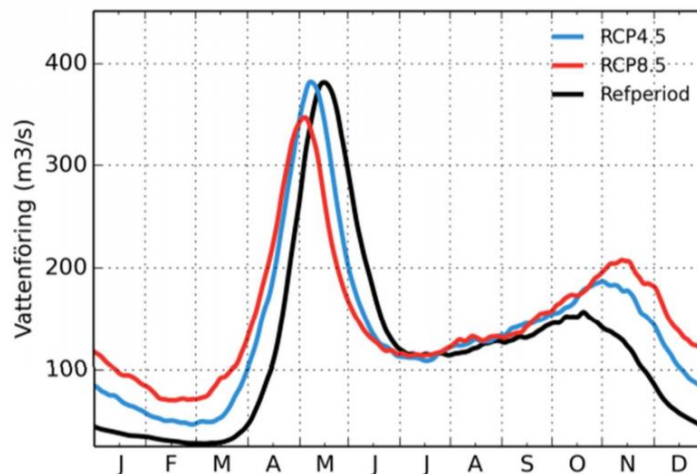
Både fördelningar med RCP4.5 och RCP8.5 visar nu två höga toppar för flödesintervall 90-120m³/s och 150–200 m³/s. Första intervallet inträffar omkring 28 % och 25 % av tiden för RCP8.5 och RCP4.5 respektive. Andra vattenföringsintervallet inträffar 22 % och 19 % av tiden för RCP8.5 och RCP4.5 respektive. Resultaten visar att högre flöde kommer vara vanligare i framtiden jämfört med samma flödesmängd under referensperioden. Vad gäller låga flöden visar resultat från RCP4.5 en snabb ökning i frekvensen från flöde i storlek 40m³/s medan antal dagar med låga flöden vid RCP8.5 är försumbar upp till vattenföring på 50-70m³/s. Förekomst av flöde över 300m³/s minskar också enligt resultat utifrån beräkningar med klimatscenario RCP8.5 till omkring 1 % jämfört med andra beräkningskällor (uppmätt och simulerat flöde med nuvarande klimat) där frekvensen är upp till 4 %.

Histogrammen har jämförts med resultaten från klimatrapporten ”Framtidsklimat i Värmlands län” som utfördes av SMHI under 2017 (Ref 7). Klimatrapportens mål var att simulera meteorologiska och hydrologiska parametrarna med påverkan av olika klimatscenarier i framtiden. Jämförelse mellan hydrologiska resultaten är inte direkt eftersom vissa antaganden måste övervägas:

- Klimatanalys av de hydrologiska parametrarna i Värmlands län som utfördes 2017 baseras på resultat från den hydrologiska modellen HBV som satts upp för länet. I detta arbete har Svenska uppsättning av HYPE använts men modellen har inte lokalanpassats länet eller för Edsforsen.
- I rapporten om framtidens klimat i Värmlands län har tillrinning simulerats istället för vattenföring. Det kan ge skillnader i resultat om man analyserar ett reglerat vattendrag.

Kapitel 8 i rapporten från 2017 visar hur medelvärden för tillrinningens årssynamik kommer förändras i framtiden på grund av ett förändrat klimat (Figur 16). Referensperioden i denna studie är 1963-1992 (svart linje i figuren) och framtidsperiod är 2069-2098. Beräkningar gjordes enligt RCP4.5 och RCP8.5 klimatscenarier (blå och röd linje respektive).

Klarälven Edsforsen



Figur 16. Tillrinningens årssynamik i Edsforsen. Svart linje representerar referensperioden 1963-1992 och de två övriga linjerna representerar framtidsperioden 2069-2098. Blå linje avser medelvärden av beräkningar enligt RCP4.5 och röd linje representerar motsvarande för RCP8.5.

För Edsforsen visar framtidsscenarierna i Figur 16 på tidigare vårflodstoppar, högre vinter och höstflöde medan tillrinningen under sommaren inte påverkas.

Under vintermånaderna (januari, februari och mars i Figur 16) kommer flödet vara mycket större än det som varit i referensperioden enligt både klimatscenarierna. Ett liknande resultat kan ses i Figur 15, där antal dagar med flödet mindre än 40 m³/s är nära eller lika som noll beroende på klimatscenario. Ökningen av tillrinningen på vintrar förklaras av Klimatrapporten med att nederbörden ökar generellt i

länet och att nederbörd som regn istället för snö kommer bli allt vanligare i ett framtida varmare klimat. Därmed kommer vinternederbörden att rinna av under vintern i stället för att, som under kalla vintrar, lagras som snö och bilda tillrinning när snön smälter under våren.

En förändrad säsongsdynamik under vintern resulterar i en tidigare snösmältningstid och mindre snötäcket som ackumuleras under vinter. Det kommer att orsaka tidigare vårflöde och även mindre vårflödestopp i slutet av seklet enligt RCP8.5. Samma dynamik visas även i Figur 15 i form av antal dagar när vissa flödens intervall inträffar. Med antagandet att flöden över $300\text{m}^3/\text{s}$ motsvarar vårfloden i genomsnitt av beräkningsperioden visar Figur 15 att det kommer finnas få eller inga dagar när flödet är över $300\text{m}^3/\text{s}$ i slutet av seklet med RCP8.5.

Höstflöde kommer också vara högre än det på referensperioden enligt både klimatscenarier (Figur 16). Den övergripande ökade tillrinningen under året motsvarat mönstret i Figur 15 vilket visar att större flödesintervall kommer bli vanligare i framtiden för en 30-årsperiod.

Under sommaren påverkas flödet inte av klimatscenarier (Figur 16). Högre temperaturer kommer att medföra att mer vatten bildar avdunstning eller används av växterna, samt nederbörd kommer också öka på 10% under sommaren enligt både RCP scenarier. En oförändrad tillrinning på framtida sommaren kan förklaras som effekt av ökade avdunstning och längre vegetationsperiod prognosticerade i framtiden i samband med högre nederbördsmängd i säsongen.

5 Slutsatser

- Det går att modellera naturligt flöde på ett reglerat vattendrag med hydrologisk modell men det är svårare att jämföra resultat direkt. Det föredras att simulera naturligt flöde till mitten och slutet av seklet på grund av osäkerheterna att sätta regleringar i vattendraget till 40–60 år i framtiden. Säsongsbetonade och årliga vattenresurshantering samt vattenförsörjning i framtiden är okänt vilket skulle kräva flera antaganden att sättas upp i modellen.
- Klimatanalys på hydrologiska indikatorer innebär olika osäkerhet källor som kommer delvis från klimatmodeller, samt från den hydrologiska modellen.
- Under vintermånader kommer större flöden än de i referensperioden bli vanligare på grund av ökade temperatur som gör att nederbörd kommer att ske mer i form av regn än av snö. Det innebär att en större vattenmängd avrinner istället för att ackumuleras i form av snö.
- Vårflöde i slutet av seklet kommer inträffa tidigare än för referensperioden. Enligt RCP8.5 kommer även vårflödestopp bli mindre än de som observerades i referensperioden. Ökade temperaturer under hela året orsakar tidig snösmältningstid, medan snötäcket blir mindre än normalt.
- Sommarflöde kommer inte påverkas av klimatscenarier på grund av en balanserad effekt på ökad nederbörd under sommaren med längre växtperiod och avdunstning.
- Ökade temperaturer och nederbörd påverkar höstflödet som kommer öka i framtiden.
- Effekt av ett starkt utsläppsminskningsscenario (RCP4.5) gör att flödet i mitten och i slutet av seklet blir i genomsnitt $15\text{m}^3/\text{s}$ större än nuvarande flödet på 90 % av tiden.
- Effekt av ett fossil-intensivt scenario (RCP8.5) gör att flödet blir i genomsnitt $15\text{m}^3/\text{s}$ större än nuvarande flödet på 90 % över tiden i mitten av seklet. I slutet av seklet ses en ökning av flödesmängden på $25\text{m}^3/\text{s}$ på 90% över tiden.

6 Referenser

1. Lindström, G., Pers, C., Rosberg, J., Strömqvist, J. & Arheimer, B. (2010). Development and testing of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) water quality model for different spatial scales. *Hydrology Research* 41.3–4, 295-319.
2. Johansson, B. (2000). Areal precipitation and temperature in the Swedish mountains. An evaluation from a hydrological perspective. *Nordic Hydrology*, 31, 207-228.
3. Johansson, B. och Chen, D. (2005). Estimation of areal precipitation for runoff modelling using wind data: a case study in Sweden. *Climate Research*, 29, 53-61
4. Klimatmodeller och utsläppsscenarier:
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatmodeller-och-scenarier/hur-fungerar-en-klimatmodell-1.470>
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/rcp-er-den-nya-generationen-klimatscenarier-1.32914>
5. Hydrologiska observationer på SMHI:s VattenWebb: <https://vattenwebb.smhi.se/station/>
6. Stoner, A. M., Hayhoe, K., Yang, X. & Wuebbles, D. J. An asynchronous regional regression model for statistical downscaling of daily climate variables. *Int. J. Climatol.* 33, 2473–2494 (2013).
7. Nylén L., Asp M., Berggreen-Clausen S., Berlöv G., Björk E., Axén-Mårtensson J., Ohlsson A., Persson H., Sjökvist E. 2017. Framtidsklimat i Värmlands län – enligt RCP-scenarier. SMHI Klimatologi Nr 17.
https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.95722!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/Framtidsklimat_i_V%C3%A4rmlands_l%C3%A4n_Klimatologi_nr_17.pdf